



МИННО-ГЕОЛОЖКИ
УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. ИВАН РИЛСКИ“

Научен колоквиум на МГУ "Св. Иван Рилски"
по Национална програма „Млади учени и постдокторанти-2“
(II етап 2024-2025)
18.03.2025г.

ас. инж. Веселин Христов Митков – позиция: млад учен
Проект на тема: „Съхранение на водород в подземни газохранилища“.

ЦЕЛ

Основната цел на проекта е да се изследва и изучи влиянието на водорода върху капацитетни и филтрационни параметри на скалата колектор, влиянието на водорода по време на нагнетяване и добиване върху колоната от помпено компресорни тръби (ПКТ) при нагнетяване и добиване на газо-водородната смес.

ЗАДАЧИ

- I. Разработване на методика за експериментално лабораторно изследване на ядрови образци за определяне на филтрационните свойства при различно процентно съдържание на водород в природния газ.
- II. Разработване на методика за определяне на състоянието на при забойната зона на сондажа при нагнетяване и добиване на газо-водородни смеси по данни от изследване на сондажите при стабилизиране и нестабилизиран режим.
- III. Определяне влиянието на водорода върху ПКТ в процеса на нагнетяване и добив.

Блок схема на провеждане на изследването на ядров образец с газоводородна смес

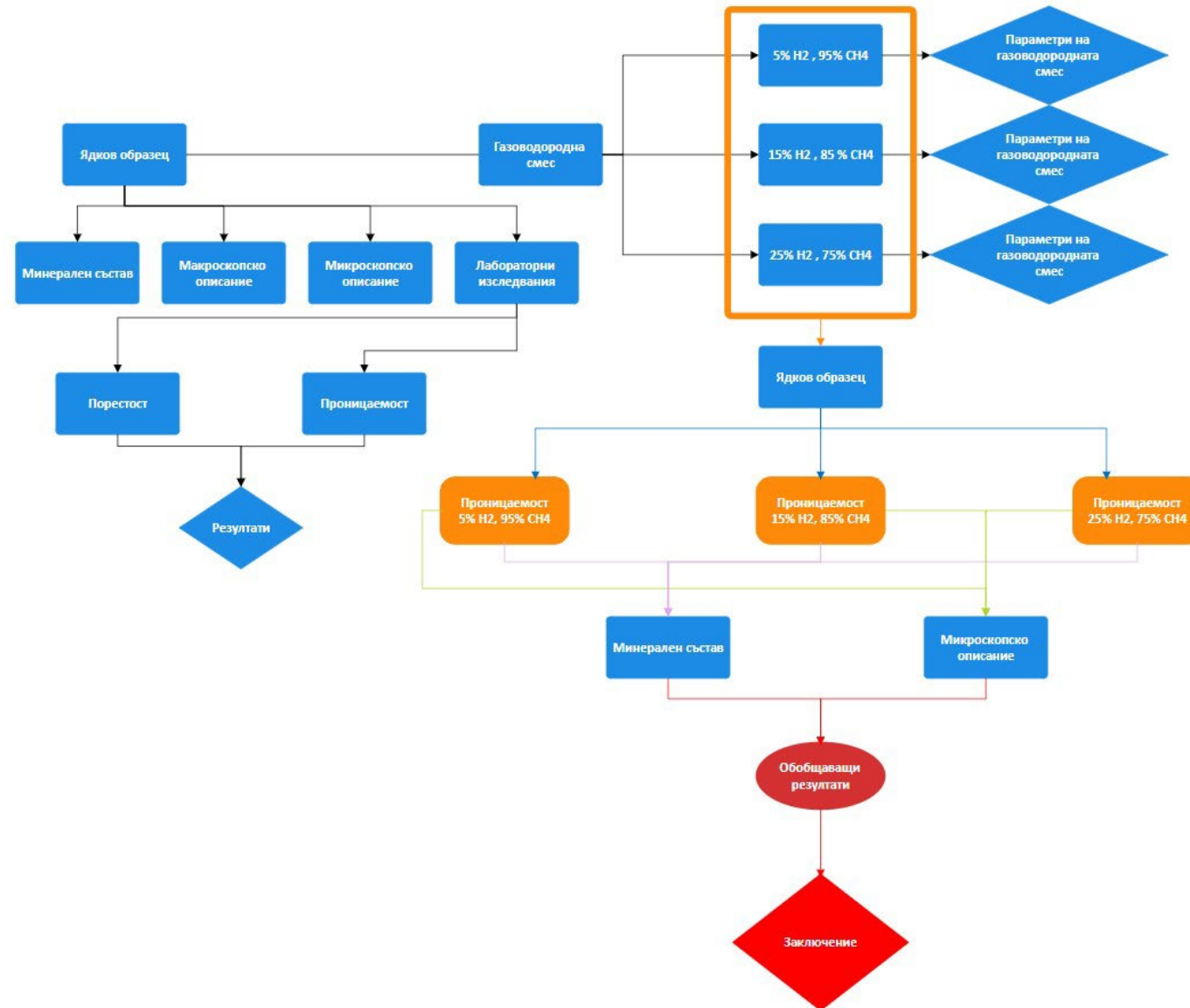


Таблица 1. Параметри на газо-водородната смес

	Компонент	Процентно съдържание	Моларна маса на компонента	Критично налягане	Критична температура	Относителна плътност
Мерна единица		mol %	kg/kmol	MPa	K	
5% H ₂	Метан CH ₄	88.8662	16.043	4.605	190.6	0.5539
	Етан C ₂ H ₆	3.7390	30.068	4.881	305.4	1.0382
	Пропан C ₃ H ₈	1.1697	44.094	4.25	369.8	1.5225
	Изобутан i-C ₄ H ₁₀	0.1784	58.12	3.648	408.1	2.0068
	Нормален бутан n-C ₄ H ₁₀	0.1742	58.12	3.797	425.2	2.0068
	Изопентан i-C ₅ H ₁₂	0.0295	72.151	3.382	460.4	2.4911
	Нормален пентан n-C ₅ H ₁₂	0.0215	72.151	3.369	469.7	2.4911
	Хексан C ₆ H ₁₄	0.0153	86.178	3.013	507.4	2.9753
	Хептан C ₇ H ₁₆	0.0000	100.198	2.736	540.2	3.4596
	Октан C ₈ H ₁₈	0.0000	114.22	2.486	568.8	3.9436
	Нонан C ₉ H ₂₀	0.0000	128.26	2.289	594.7	4.4283
	Декан C ₁₀ H ₂₂	0.0000	142.29	2.096	617.7	4.9128
	Въглероден диоксид CO ₂	0.4932	44.011	7.383	304.2	1.5195
	Сероводород H ₂ S	0.0000	34.082	9.01	373.6	1.1765
	Азот N ₂	0.3128	28.016	3.399	126.3	0.9672
Водород H ₂	5.0000	2.016	1.299	33.3	0.0696	
Хелий He	0.0000	4.003	0.229	5.3	0.1381	
		100.00				

Таблица 2. Пресмятане на молекулната маса на газо-водородната смес

% съдържание на H ₂	Моларна маса на газовата смес	$x_i \cdot M_i$	kg/kmol
5 % H ₂	Метан CH ₄	14.2568	
	Етан C ₂ H ₆	1.1242	
	Пропан C ₃ H ₈	0.5158	
	Изобутан i-C ₄ H ₁₀	0.1037	
	Нормален бутан n-C ₄ H ₁₀	0.1013	
	Изопентан i-C ₅ H ₁₂	0.0213	
	Нормален пентан n-C ₅ H ₁₂	0.0155	
	Хексан C ₆ H ₁₄	0.0132	
	Хептан C ₇ H ₁₆	0.0000	
	Октан C ₈ H ₁₈	0.0000	
	Нонан C ₉ H ₂₀	0.0000	
	Декан C ₁₀ H ₂₂	0.0000	
	Въглероден диоксид CO ₂	0.2171	
	Сероводород H ₂ S	0.0000	
	Азот N ₂	0.0876	
	Водород H ₂	0.1008	
Хелий He	0.0000		
	Моларна маса на газовата смес	16.5573	kg/kmol

$$M_{\text{гс}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \times x_i}{100}$$

Таблица 3 Критично налягане на газо-водородната смес

% съдържание на H ₂	Критично налягане на газовата смес	x _i . P _{kri}	MPa
5 % H ₂	Метан CH ₄	4.0923	
	Етан C ₂ H ₆	0.1825	
	Пропан C ₃ H ₈	0.0497	
	Изобутан i-C ₄ H ₁₀	0.0065	
	Нормален бутан n-C ₄ H ₁₀	0.0066	
	Изопентан i-C ₅ H ₁₂	0.0010	
	Нормален пентан n-C ₅ H ₁₂	0.0007	
	Хексан C ₆ H ₁₄	0.0005	
	Хептан C ₇ H ₁₆	0.0000	
	Октан C ₈ H ₁₈	0.0000	
	Нонан C ₉ H ₂₀	0.0000	
	Декан C ₁₀ H ₂₂	0.0000	
	Въглероден диоксид CO ₂	0.0364	
	Сероводород H ₂ S	0.0000	
	Азот N ₂	0.0106	
Водород H ₂	0.0650		
Хелий He	0.0000		
	Критично налягане на газовата смес	4.4518	MPa

$$P_{кр} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{кри} \times x_i}{100}$$

Таблица 4 Критична температура на газо-водородната смес

% съдържание на H ₂	Критична температура на газовата смес	x _i . T _{kri}	К
5 % H ₂	Метан CH ₄	169.379	
	Етан C ₂ H ₆	11.419	
	Пропан C ₃ H ₈	4.326	
	Изобутан i-C ₄ H ₁₀	0.728	
	Нормален бутан n-C ₄ H ₁₀	0.741	
	Изопентан i-C ₅ H ₁₂	0.136	
	Нормален пентан n-C ₅ H ₁₂	0.101	
	Хексан C ₆ H ₁₄	0.078	
	Хептан C ₇ H ₁₆	0.000	
	Октан C ₈ H ₁₈	0.000	
	Нонан C ₉ H ₂₀	0.000	
	Декан C ₁₀ H ₂₂	0.000	
	Въглероден диоксид CO ₂	1.500	
	Сероводород H ₂ S	0.000	
	Азот N ₂	0.395	
Водород H ₂	1.665		
Хелий He	0.000		
	Критична температура на газовата смес	190.468	К

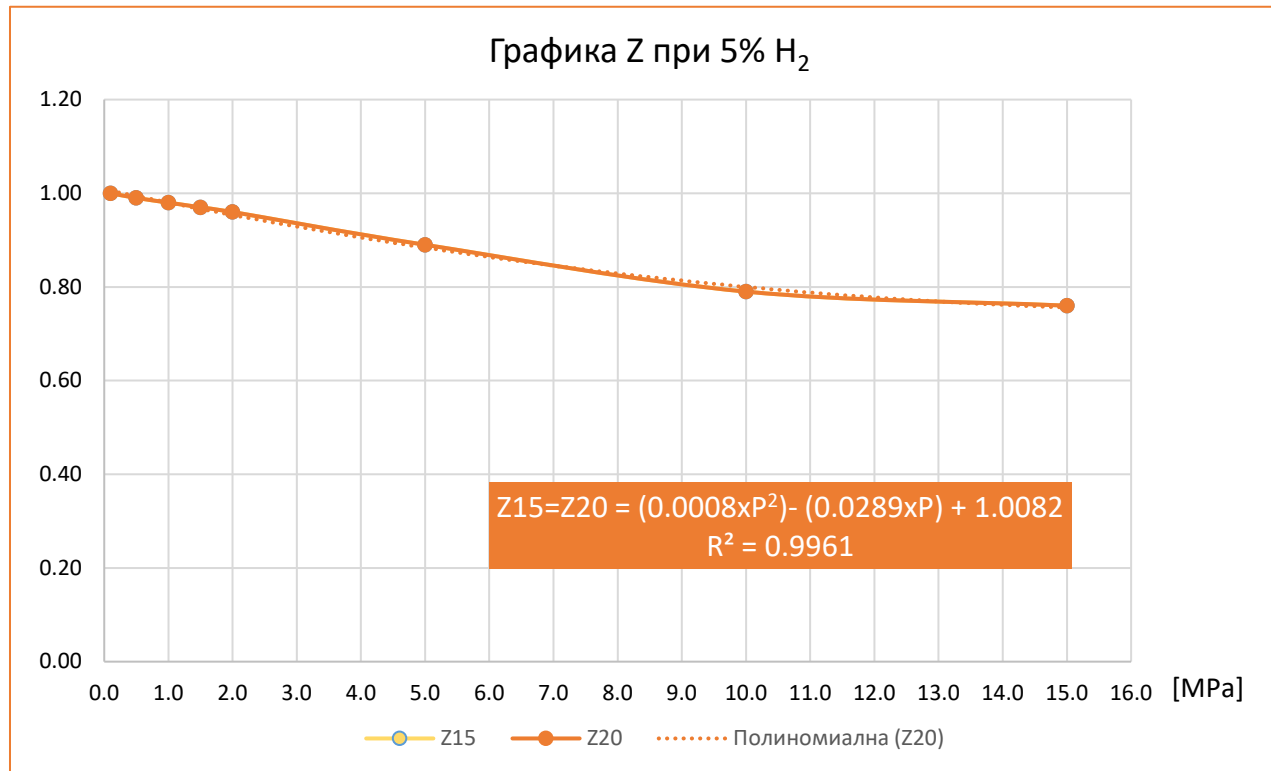
$$T_{кр} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{кри} \times x_i}{100}$$

Таблица 5 Отчитане на коефициента на свърхсвиваемост при 15 °С и 20 °С и различни налягания

Графика Z					
Налягане P [MPa]	Pпр	Tпр 15	Tпр 20	Z15	Z20
0.1	0.0225	1.5129	1.5391	1.00	1.00
0.5	0.1123	1.5129	1.5391	0.99	0.99
1.0	0.2246	1.5129	1.5391	0.98	0.98
1.5	0.3369	1.5129	1.5391	0.97	0.97
2.0	0.4493	1.5129	1.5391	0.96	0.96
5.0	1.1231	1.5129	1.5391	0.89	0.89
10.0	2.2463	1.5129	1.5391	0.79	0.79
15.0	3.3694	1.5129	1.5391	0.76	0.76

От данните от таблица 5 и графиката, можем да видим, че стойността на коефициента на свърхсвиваемост Z спада, описал съм кривата му с полином от втора степен

$$Z_{15}=Z_{20} = (0.0008xP^2) - (0.0289xP) + 1.0082$$



Вискозитета на газо-водородната смес

При налягане и температура в следните граници:

$P = 0,1 \text{ MPa} \div 70,3 \text{ MPa}$; $T = 278 \text{ K} \div 511 \text{ K}$,

зависимостта на Lee-Gonzalez-Eakin описва с достатъчно голяма точност изменението на вискозитета на газо-водородната смес.

$$\mu_{\Gamma} = A \times e^{B \times \rho_{\Gamma}^C}$$

$$A = \frac{(9,4 + 0,02 \times M_{\Gamma C}) \times (1,8 \times T)^{1,5}}{(209 + 19 \times M_{\Gamma C} + 1,8 \times T) \times 10^4}$$

$$B = 3,5 + \frac{547,77}{T} + 0,01 \times M_{\Gamma C}$$

$$C = 2,4 - 0,2 \times B$$

$$\rho_{\Gamma} = \frac{0,1202 \times P \times M_{\Gamma C}}{Z \times T}$$

Таблица 6 Данни от пресмятането на вискозитета на газо-водородната смес

Вискозите на газа μ [mPa.s] (Lee-Gonzalez-Eakin)							
P [MPa]	Z15	$M_{\Gamma C}$ [kg/kmol]	A	B	C	ρ	μ [mPa.s]
0.5	0.994	16.5573	0.01103	5.56656	1.28669	0.0035	0.01107
1	0.980		0.01103	5.56656	1.28669	0.0070	0.01113
5	0.884		0.01103	5.56656	1.28669	0.0391	0.01202
10	0.799		0.01103	5.56656	1.28669	0.0864	0.01400
P [MPa]	Z20	$M_{\Gamma C}$ [kg/kmol]	A	B	C	ρ	μ [mPa.s]
0.5	0.994	16.5573	0.01122	5.53414	1.29317	0.0034	0.01126
1	0.980		0.01122	5.53414	1.29317	0.0069	0.01132
5	0.884		0.01122	5.53414	1.29317	0.0384	0.01218
10	0.799		0.01122	5.53414	1.29317	0.0849	0.01410

Резултати от изследването на скални образци

Резултати от изпитването на проба №:1

Петрографско определение: Силно прекрастализиран тъмносив биокластичен варовик

Макроскопско описание: Пробата е от сондажна ядка. Представлява плътна здрава тъмносива на цвят скала, На солна киселина реагират с интензивно шумене, т.е. изградена е от калцит.

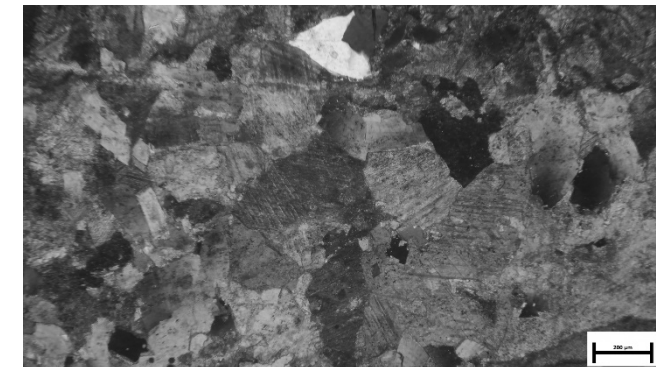
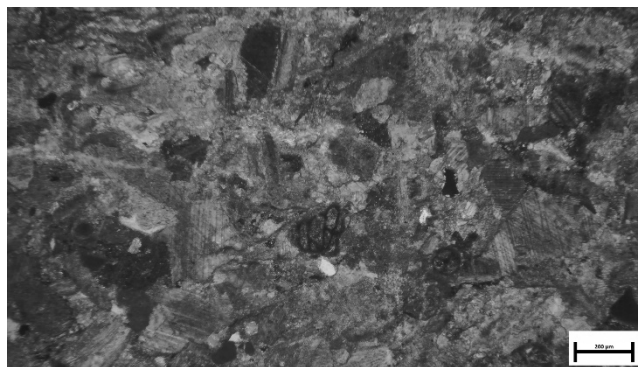
Текстура: Масивна

Структура: Разнозърнеста, хетеробластна, реликтивно биоморфна

Минерален състав

- Главен минерал: калцит
- Второстепенни минерали: кварц и доломит

Наименование на характеристиката	Стандарти / валидирани методи	Единица на величината	Резултати от изпитанието	Условия на изпитанието
Калцит {CaCO ₃ }	ETC 7.2.1-29/2016	%	72	t (22±4) °C RH (30+60) %
Кварц {SiO ₂ }	ETC 7.2.1-29/2016	%	17	t (22±4) °C RH (30+60) %
Доломит {CaMg(CO ₃) ₂ }	ETC 7.2.1-29/2016	%	11	t (22±4) °C RH (30+60) %



Фиг.1 Слабо пещчлив прекрастализиран варовик Фиг.2 Късна проложка от яснокристален калцит

Резултати от изследването на скални образци

Резултати от изпитването на проба №:2

Петрографско определение: Силно прекристализиран пясъчлив тъмносив биокластичен варовик

Макроскопско описание: Пробата е от сондажна ядка.

На външен вид е плътна здрава тъмносива на цвят скала, реагираща на солна киселина с интензивно шумене. Наблюдава се бели калцитни жилки.

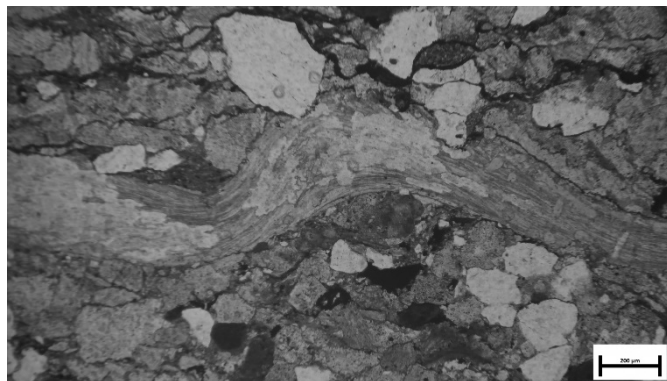
Текстура: Масивна

Структура: Разнозърнеста, хетеробластна, реликтово биоморфна

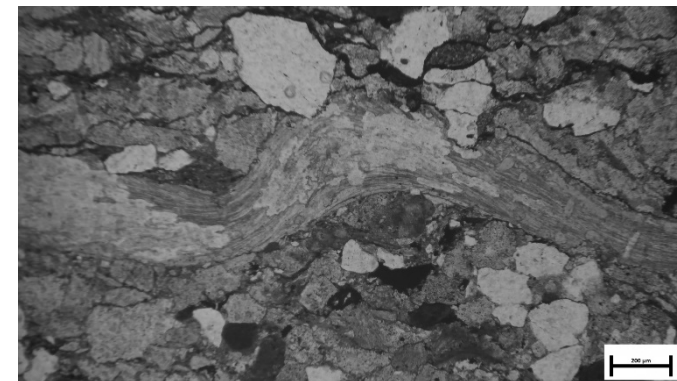
Минерален състав

- Главен минерал: калцит
- Второстепенни минерали: кварц, албит и доломит

Наименование на характеристиката	Стандарти / валидирани методи	Единица на величината	Резултати от изпитанието	Условия на изпитанието
Калцит {CaCO ₃ }	ETC 7.2.1-29/2016	%	47	t (22±4) °C RH (30+60) %
Кварц {SiO ₂ }	ETC 7.2.1-29/2016	%	36	t (22±4) °C RH (30+60) %
Доломит {CaMg(CO ₃) ₂ }	ETC 7.2.1-29/2016	%	9	t (22±4) °C RH (30+60) %
Албит {NaAlSi ₃ O ₈ }	ETC 7.2.1-29/2016	%	6	t (22±4) °C RH (30+60) %
Пирит {FeS ₂ }	ETC 7.2.1-29/2016	%	2	t (22±4) °C RH (30+60) %



Фиг. 3 Пясъчлив прекристализиран варовик



Фиг.4 Едри теригенни кварцови агрегати

Регулатор за водород - 825D-15-H

Максимално входно налягане (bar): 230 налягане на входа (bar); 50 максимален (газов) дебит (m³/h)

Максимално изходно налягане (bar): 15 налягане на входа (bar)

Входяща връзка: W21,80x1/14"LN

Изходна връзка: G3/8LN

Ковано месингово тяло.

Еднокомпонентна капсулована конструкция с вътрешен филтър и PTFE (Teflon®) гнездо



Фиг. 5 Регулатор за водород - 825D-15-H

Национална програма „Млади учени и
постдокторанти-2“
(II етап 2024-2025)



МИННО-ГЕОЛОЖКИ
УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. ИВАН РИЛСКИ“

Благодаря за вниманието!